

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2018.50736

熊静, 王臣, 邢文黎, 虞木奎, 成向荣, 张翠. 朱砂根幼苗在不同光照强度下的形态和生理响应[J]. 植物科学学报, 2018, 36(5): 736-744
Xiong J, Wang C, Xing WL, Yu MK, Cheng XR, Zhang C. Morphological and physiological responses of *Ardisia crenata* seedlings under different light intensities[J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(5): 736-744

朱砂根幼苗在不同光照强度下的形态和生理响应

熊静¹, 王臣², 邢文黎¹, 虞木奎¹, 成向荣^{1*}, 张翠¹

(1. 华东沿海防护林生态系统国家定位观测研究站, 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 杭州 311400;
2. 乳山市林业局, 山东乳山 264500)

摘要: 通过人工遮荫模拟不同生境光强(100%、52%、33%、15%和6%的相对光照)的方法, 对朱砂根(*Ardisia crenata* Sims)幼苗形态、生物量和生理指标的变化特征进行了分析。研究结果显示, 朱砂根单株生物量在52%相对光照处理下显著高于其他光照处理, 在15%~52%相对光照处理下分配给叶片的生物量比例高于全光照(100%)和极弱(6%)光照处理, 但根冠比不受光强影响, 其结构可塑性相对较低。硝酸盐含量随遮荫强度的增加而增大, 且在6%相对光照处理下显著增加, 硝酸盐还原酶的活性同硝酸盐含量变化规律一致, 表明朱砂根主要通过改变叶面积和比叶面积等形态指标, 以及调整生物量的分配和光合色素含量来适应不同的光环境。叶绿体超微结构分析结果显示, 在15%~52%相对光照处理下, 叶绿体数量较多且细胞结构较完整, 而100%和6%光照处理下的叶绿体数量明显减少, 且细胞结构严重受损发生质壁分离现象。因此, 朱砂根适宜生长的光照条件为15%~52%, 尤其是33%~52%的相对光照条件更佳。

关键词: 朱砂根; 光强度; 形态; 生理; 超微结构

中图分类号: Q945

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2018)05-0736-09

Morphological and physiological responses of *Ardisia crenata* seedlings under different light intensities

Xiong Jing¹, Wang Chen², Xing Wen-Li¹, Yu Mu-Kui¹, Cheng Xiang-Rong^{1*}, Zhang Cui¹

(1. East China Coastal Forest Ecosystem Research Station, Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China; 2. Rushan Forestry Bureau, Rushan, Shandong 264500, China)

Abstract: Changes in the morphology, biomass, and physiology of *Ardisia crenata* seedlings were studied under different light environments (100%, 52%, 33%, 15%, and 6% relative light intensities). Results showed that the biomass of individual *A. crenata* seedlings was significantly higher under 52% light treatment than that under other treatments. The proportion of biomass allocated to leaves under 15% – 52% light treatment was also higher than that under 100% and 6% light treatment. The root shoot ratio was not affected by light intensity, indicating that the structural plasticity of *A. crenata* was relatively low. The concentrations of nitrate increased with the decrease in light intensity and increased significantly under 6% light treatment. The change in nitrate reductase activity with light intensity was consistent with the change in nitrate content. Furthermore, the *A. crenata* seedlings adapted to different light environments by changing the leaf area and specific leaf area and by regulating the

收稿日期: 2018-04-05, 退修日期: 2018-06-08。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0505500, 2017YFC0505502); 浙江省中国林科院合作重点项目(2014SY01)。

This work was supported by grants from the Key National Research and Development Program (2017YFC0505500, 2017YFC0505502) and Key Cooperation Projects of Zhejiang and Chinese Academy of Forestry (2014SY01) .

作者简介: 熊静(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向为人工林结构优化(E-mail: 2420356281@qq.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: chxr@caf.ac.cn)。

photosynthetic pigment. Analysis of chloroplast ultrastructure also showed that chloroplast number and cellular structure under 15% – 52% light treatment were intact. However, under 100% and 6% light treatment, the number of the chloroplasts decreased significantly, the cellular structure was damaged, and plasmolysis occurred. Therefore, the most suitable growth conditions for *A. crenata* seedlings were under 15% – 52% relative light intensities, though the best growth was achieved under 33% – 52% relative light treatment.

Key words: *Ardisia crenata*; Light intensity; Morphology; Physiology; Ultrastructure

不同植物内在基因结构不同,经过长期进化后,植物对外界环境条件的需求也具有较大差异。研究表明,光照对林木生长至关重要,是影响林下植物生存和生长发育的主要限制因素^[1]。由于自然或人为因素的影响,导致林下光资源分布不均匀,形成不同的光环境^[2]。在植物生长发育过程中,根据其生境中可利用光照强度的大小,植物可通过调节叶片的形态结构、光合机构的结构和组成,及在生态学、生物化学、生物学上的一系列适应性变化来适应特定光环境^[3],以最大限度地利用光照资源,提高植物适合度^[4]。

朱砂根(*Ardisia crenata* Sims)属紫金牛科紫金牛属常绿小灌木,主要分布在长江流域以南地区,是集观赏、生态、药用为一体的优良耐荫树种,极具市场价值^[5,6]。朱砂根作为一种园林观赏植物,除盆栽供室内点缀外,还可片植、丛植于庭前、角隅、假山旁、草坪等处,亦可用作林下地被^[7]。目前有关朱砂根的研究多集中在引种栽培^[8]、化学成分及其药理作用^[9,10]、组织培养^[11,12]等方面,而朱砂根作为优良伴生阴性灌木,在荫庇条件下可以更好地生长^[13],但有关其幼苗响应光照强度变化的研究报道较少。研究表明,植物逆境情况下,会通过其外在形态和内在生理产生一系列应对措施,形态特征和生理生长特性的改变是植物适应不同环境的重要策略^[14]。因此,本研究通过人工遮荫的方法,模拟不同生境下的光照强度,分析朱砂根的形态、生理指标以及光合器官的超微结构对光环境变化的适应机制,以期朱砂根的综合开发和高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

研究区位于浙江省杭州市富阳区千家村苗圃内,该实验地2002年以前为农田,后改为实验用

地。土壤为红黄壤,pH 6.5,地势平整,排灌系统良好,年日照时数为1334.1 h,年均气温为16.4℃,生长期总积温为5221.5℃,年均降水量为1814 mm,无霜期252 d,属于亚热带季风气候^[15]。

1.2 实验设计

于2010年3月随机选取2年生、健壮且长势较为一致的朱砂根幼苗150株,分为5组,分别栽植在5块2 m × 15 m的小样方内,每个小样方内30株幼苗,每株幼苗互不遮挡。苗木生长1个月后,开始进行光照控制实验。采用遮阳网搭建遮荫棚设置不同遮光处理,透光率分别为自然全光照的100%(未遮荫)、52%、33%、15%和6%^[12],于晴天采用光照计测定不同遮荫处理下的相对光照强度。不同遮光处理下幼苗的抚育管理(除草、浇水等)措施相同^[16]。

1.3 测定方法

1.3.1 叶片形态及生理指标的测定

于2010年11月中旬测定所有处理下苗木的生长指标,即苗高和地径,然后在每种光照处理中随机选取6株苗木整株收获,每个样株分叶、茎和根,110℃杀青1 h后在70℃下烘干至恒重,测定叶、茎和根生物量等指标。

在每种光处理下随机取出50片鲜叶用于叶形态特征的分析。叶长、叶宽、叶长/宽、叶面积等指标采用WinFOLIA(Regent,加拿大)分析系统测定。比叶面积 = 单株总叶面积/单株总叶生物量,叶面积比 = 单株植物总叶面积/单株植物总生物量^[16]。

叶片的叶绿素a、b和类胡萝卜素含量采用乙醇-丙酮比色法测定;采用可溶性蛋白质水浸提碘比色法测定淀粉的含量;硝酸还原酶含量采用分光光度法测定;丙二醛采用显色反应和分光光度法测定;叶片淀粉含量采用高氯酸水解-蒽酮比色法测定;超氧化物歧化酶活性的测定采用氮蓝四唑法;

植物叶片中硝酸盐含量采用比色法进行测定；全 N 含量采用浓硫酸-过氧化氢煮沸-半微量凯氏定氮法测定；电导率的测定采用电导法^[17, 18]。

1.3.2 叶片细胞超微结构的观察

将处理后的朱砂根叶片采用 2.5% 的戊二醛与 1% 锇酸固定；然后用 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液漂洗 3 次，每次 30 min；再用 30%、50%、70%、90%、100% 的丙酮逐级脱水，每次 15 min；样品脱水后迅速移入丙酮、包埋剂中，然后按丙酮:包埋剂 3:1 以及 1:3 混合液，逐级渗透，每级 4 h，最后移入纯包埋剂过夜渗透；采用 LKB-V 型超薄切片机进行切片；切片经醋酸双氧铀和柠檬酸铅溶液分别染色；最后用 H-600 型透射电子显微镜观察、拍照^[19, 20]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2013 软件进行数据记录和处理；采用 GraphPad Prism 5 软件进行方差分析和多重比较。表中数据为平均值 ± 标准差。

2 结果与分析

2.1 不同光照处理下朱砂根形态和生物量的变化

研究结果显示，朱砂根的平均叶面积、比叶面积和叶面积比总体随光照强度的减弱呈显著增加的趋势，但叶面积比在 6% 的相对光照处理下又显著降低 ($P < 0.05$)；单株总叶面积在 15% ~ 52% 的相对光照处理下显著高于其他处理，其次是 6% 的相对光照处理时总叶面积较大，在 100% 全光照处理下总叶面积最小 (表 1)。朱砂根单株叶、根生物量、地上生物量及总生物量在 52% 和 33% 的相对光照处理下较高，其他处理下相对较低；茎生物量随光照强度的减弱呈逐渐降低的趋势，其中 15% 和 6% 的相对光照处理下，根生物量显著低于 100% 和 52% 的相对光照处理 ($P < 0.05$)；但朱砂根根冠比在不同光照处理间没有显著差异 ($P > 0.05$)。不同光照处理间朱砂根幼苗高生长和地径生长差异不显著。

表 1 朱砂根形态指标在不同光照强度下的变化

Table 1 Biomass and morphological indexes of *Ardisia crenata* seedlings under different light intensities

指标 Indexes	相对光强 (%) Relative light intensities				
	100	52	33	15	6
平均叶面积 (cm ²) Average leaf area	5.78 ± 0.64c	14.8 ± 2.13b	12.58 ± 0.83b	20.2 ± 2.48a	17.27 ± 2.09a
单株总叶面积 (cm ²) Total leaf area	106.24 ± 37.09c	553.78 ± 65.34a	456.41 ± 112.45a	575.65 ± 212a	197.77 ± 27.35b
比叶面积 (cm ² /g) Specific leaf area	67.15 ± 9.22c	84.32 ± 5.71 b	112.31 ± 12.6a	132.03 ± 9.06a	138.69 ± 13.69a
叶面积比 (cm ² /g) Leaf area ratio	10.28 ± 2.09c	26.15 ± 2.92b	30.29 ± 3.57b	49.48 ± 6.58a	27.06 ± 1.81b
叶生物量 (g) Leaf biomass	1.58 ± 1.25b	6.568 ± 1.75a	4.064 ± 2.24ab	2.99 ± 1.87b	1.43 ± 0.45b
茎生物量 (g) Stem biomass	3.85 ± 1.06a	3.78 ± 1.02a	3.34 ± 0.19ab	2.18 ± 0.52b	2.16 ± 0.85b
根生物量 (g) Root biomass	5.38 ± 2.26ab	10.83 ± 6.55a	7.66 ± 2.68a	5.34 ± 2.22ab	3.73 ± 0.51b
地上生物量 (g) Overground biomass	4.96 ± 1.92b	10.34 ± 2.39a	7.41 ± 3.59ab	6.54 ± 3.93ab	3.58 ± 1.25b
根冠比 Root shoot ratio	1.13 ± 0.38a	1.05 ± 0.46a	1.08 ± 0.16a	0.93 ± 0.37a	1.12 ± 0.29a
单株总生物量 (g) Total biomass	10.34 ± 3.75b	21.18 ± 8.55a	15.07 ± 6.2ab	11.88 ± 5.76ab	7.31 ± 1.61b
苗高 (cm) Seedling height	24.25 ± 6.72a	21.98 ± 0.77a	25.9 ± 2.87a	23.32 ± 2.87a	24.65 ± 1.63a
地径 (mm) Ground diameter	6.29 ± 0.82a	6.48 ± 0.54a	6.19 ± 0.48a	5.76 ± 0.61a	6.54 ± 2.09a

注：同行不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same row indicate significant differences among treatments at the 0.05 level. Same below.

2.2 不同光照处理下朱砂根生理指标的变化

研究表明,朱砂根随着光照水平降低,叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素、总叶绿素含量呈增加趋势,而叶绿素 a/b 则逐渐降低。100%全光照和 52%相对光照处理下,叶绿素和类胡萝卜素的含量没有显著差异,随着光照水平进一步下降,叶绿素和类胡萝卜素含量显著增加 ($P < 0.05$) (表 2)。

朱砂根的淀粉、可溶性糖、电导率、丙二醛的含量在不同光照处理之间均没有显著差异 ($P > 0.05$)。52%和 33%的相对光照处理下,叶片含氮量显著高于其他光照处理。可溶性蛋白质含量随光照强度减弱而降低,6%相对光照处理显著低于全光照处理 ($P < 0.05$)。硝酸盐与硝酸还原酶变化趋势一致,均随光照强度降低而增加,尤其是低光处理 (15% 和 6%) 显著高于高光处理 (100% 和

52%)。超氧化物歧化酶在光照水平为 15%时达到最大值,显著高于 100%全光照和 52%的相对光照处理,但与 33%和 6%相对光照处理间没有显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 不同光照处理下朱砂根超微结构观察

研究表明,朱砂根在 100%全光照处理下,细胞壁与细胞膜之间出现缝隙,发生质壁分离现象,细胞内结构模糊,发生解体现象,叶绿体数量很少,几乎没有(图 1: A)。

在 52%相对光照处理下,细胞膜与细胞壁紧密相连,细胞内细胞器较丰富。叶绿体沿着细胞壁分布,紧密排列成一圈,叶绿体基本呈纺锤形或圆形且数量较多,旁边的白色线粒体数量较多,其上的黑色嗜饿颗粒数量很多,白色的淀粉颗粒数量较少,内部类囊体结构清晰,基粒或基质片层排列紧密有序(图 1: B)。

表 2 朱砂根生理指标在不同光照强度下的变化
Table 2 Physiological indexes of *A. crenata* seedlings under different light intensities

指标 Indexes	相对光强 (%) Relative light intensities				
	100	52	33	15	6
叶绿素 a (mg/g) Chlorophyll-a	1.52 ± 0.05c	1.57 ± 0.04c	1.68 ± 0.04b	1.76 ± 0.06b	1.94 ± 0.07a
叶绿素 b (mg/g) Chlorophyll-b	0.35 ± 0.02e	0.41 ± 0.01d	0.50 ± 0.01c	0.55 ± 0.02b	0.62 ± 0.02a
叶绿素 a/b Chlorophyll a/b	4.30 ± 0.15a	3.76 ± 0.08b	3.34 ± 0.02c	3.18 ± 0.08d	3.15 ± 0.02d
总叶绿素 (mg/g) Total chlorophyll	2.28 ± 0.08c	2.40 ± 0.06c	2.63 ± 0.06b	2.76 ± 0.08b	3.06 ± 0.11a
类胡萝卜素 (mg/g) Carotenoid	0.41 ± 0.01c	0.42 ± 0.01bc	0.44 ± 0.01b	0.44 ± 0.01b	0.50 ± 0.02a
淀粉 (mg/g) Starch	10.42 ± 2.07a	13.87 ± 3.46a	11.64 ± 3.70a	13.50 ± 2.46a	12.14 ± 1.03a
可溶性糖 (mg/g) Soluble sugar	4.22 ± 0.84a	3.76 ± 0.67a	3.38 ± 0.61a	4.29 ± 0.69a	3.15 ± 0.86a
可溶性蛋白质 (mg/g) Soluble protein	2.57 ± 0.65a	2.29 ± 1.31ab	1.48 ± 1.22ab	1.30 ± 0.60ab	0.610 ± 0.18b
含氮量 (mg/g) Nitrogen content	1.27 ± 0.08ab	1.13 ± 0.05c	1.22 ± 0.02b	1.28 ± 0.01a	1.35 ± 0.06a
硝酸盐 (mg/g) Nitrate	78.42 ± 7.00b	68.51 ± 14.01b	108.14 ± 49.03b	197.28 ± 35.02ab	288.91 ± 24.51a
硝酸还原酶 (nmol/g) Nitrate reductase	1.17 ± 0.18b	2.26 ± 1.54ab	4.76 ± 1.28a	4.16 ± 0.88a	6.48 ± 0.62a
超氧化物歧化酶 (nmol/g) Superoxide dismutase	1078.97 ± 252.99b	872.32 ± 187.29b	1242.80 ± 212.01ab	1539.48 ± 121.62a	1267.90 ± 242.55ab
丙二醛 (nmol/g) Malondialdehyde	0.54 ± 0.18a	0.45 ± 0.08a	0.38 ± 0.10a	0.35 ± 0.10a	0.40 ± 0.08a
电导率 (µs/cm) Electrical conductivity	0.77 ± 0.10a	0.69 ± 0.18a	0.69 ± 0.15a	0.65 ± 0.10a	0.67 ± 0.07a

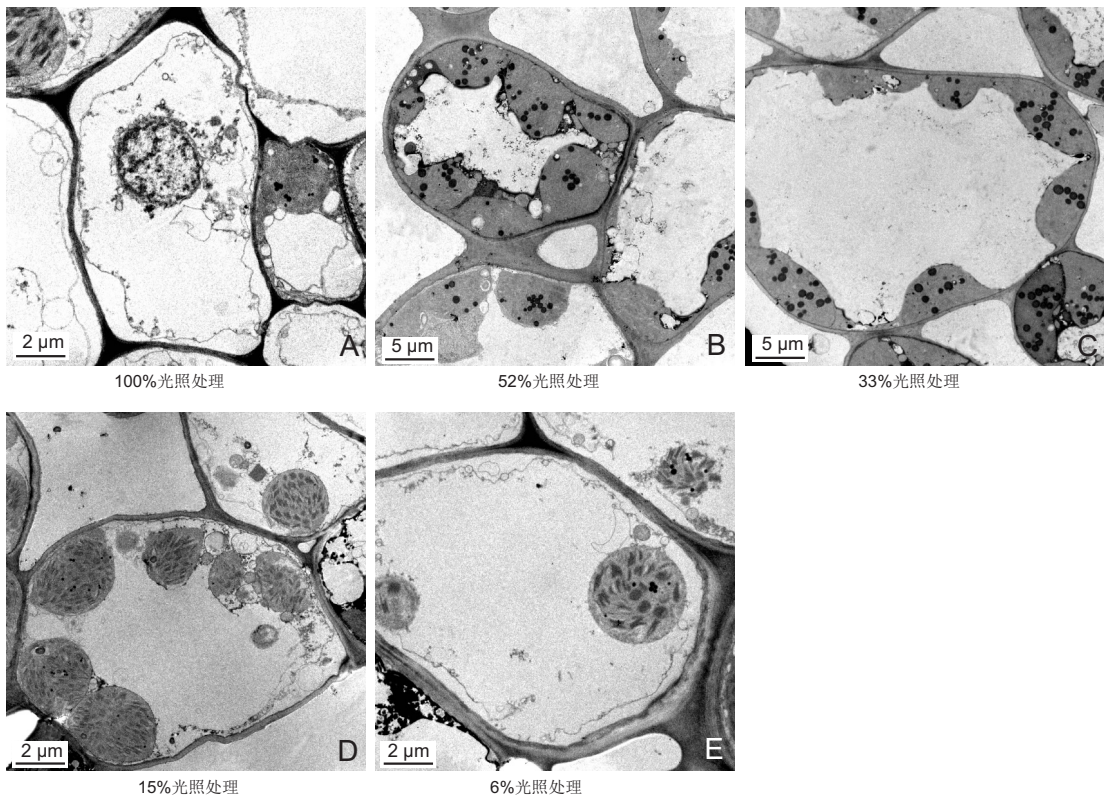


图1 不同光照处理下朱砂根叶片超微结构

Fig. 1 Ultrastructure of *A. crenata* leaves under different light intensities

在33%相对光照处理下,细胞质壁相连紧密,细胞类细胞器种类和数量较52%处理下减少,此时叶绿体基本呈纺锤形,并沿细胞壁紧密排列,但叶绿体之间相连松散,其内部类囊体结构清晰,基粒或基质片层与叶绿体长轴方向平行排列,其旁的线粒体数量较少,其上的黑色嗜锇颗粒数量仍然很多,但白色淀粉颗粒几乎没有(图1:C)。

在15%相对光照处理下,细胞内叶绿体数量较33%相对光照处理下明显减少,且沿着细胞壁分布松散,此时细胞质与细胞膜之间出现不规则间隙,略微有质壁分离现象。叶绿体形状基本为圆形,其内部的基粒或基质片层排列松散无序,其上分布的黑色嗜锇颗粒和白色淀粉颗粒数量明显降低(图1:D)。

当光照处理降为极弱光照6%时,细胞内细胞器数量较其他处理组降低幅度明显增大,叶绿体数量极少,其上分布的嗜锇颗粒极少,几乎没有淀粉粒分布,且内部基粒或基质片层数量明显减少,排列松散无序。此时可明显观测到细胞正在发生质壁分离现象(图1:E)。

3 讨论

3.1 不同光环境下朱砂根形态和生物量的分配

植物在逆境中,会与环境相互作用产生许多外在形态和内在生理方面的适应对策,即发生植物功能性状的变化,这些植物性状能够客观表达植物对外部环境的适应特征^[21]。叶片作为多数植物能量生产和物质积累的重要器官,其性状在不同光环境下一般发生较大变化^[22]。同时,叶功能性状也直接反映了植物对环境变化的适应和生存策略,与植物对资源的获取、利用密切相关^[16]。研究表明,随光照强度有效性降低,植物叶面积增大,以增加对光能的捕获能力^[23, 24]。本研究也发现,朱砂根平均单叶面积和比叶面积均随光照强度的降低而显著增大。总叶面积在15%~52%相对光照处理时最大,全光照(100%)和极弱(6%)光照条件下总叶面积均较低。在15%~52%相对光照处理下,地上部分投入到叶片的生物量比例高达55%~67%,在全光照和极弱光照条件下,叶片生物量占地上生物量的32%~40%。说明在适度荫庇环境

中,朱砂根分配较多的生物量给叶片以增加叶面积,获取较多的光能,而在严重光胁迫(全光照或极弱光照)条件下,其采取保守策略,减少对叶片生物量的投入,将更多的物质储存在枝干中。尽管一些研究指出,当地上部分资源受到限制时,植物分配较多生物量给茎叶;当地下部分资源减少时,植物分配较多的生物量给根系^[25]。Nishimura等^[26]的研究表明,当植物受到光照限制时,会减少根生物量、增加叶生物量的分配来获取较多光照资源,提高光竞争能力。本研究中,朱砂根根冠比在不同光环境之间没有显著差异,主要通过协调地上部分茎和叶生物量分配来适应不同光环境变化。

3.2 不同光环境下朱砂根生理指标的变化

一般而言,随着光强的减弱,植物为更好地利用环境光能以维持生长,会在光合色素含量上发生改变,导致植物体叶绿素含量增加,叶绿素 a/b 值也会发生改变^[27, 28]。本研究结果显示,朱砂根在 15% ~ 52% 相对光照处理下叶面积的大小、光合色素含量和叶绿体数量变化规律一致,其光合色素均随光强减弱而增加,说明在光合有效辐射较低时,朱砂根主要通过增加天线色素叶绿素 b 来捕捉更多光能,增加叶绿素 a 对捕捉的光能加以固定、贮藏。类胡萝卜素与叶片耗散能力,保护光合器官免受单线态氧的伤害密切相关^[29],本研究中类胡萝卜素变化与叶绿素变化趋势一致,表明朱砂根可以根据光照条件的变化调节色素含量来进行生理补偿和适应异质光生境。

在逆境条件下,植物通过改变自身的代谢活动来适应环境^[30]。可溶性糖、淀粉和可溶性蛋白质在叶片中的含量和利用效率与叶片的光合能力、细胞代谢程度密切相关^[31]。植株体内可溶性糖和淀粉含量受外界环境光照条件的影响较大^[32],通常在不同强度遮荫下,可溶性糖和淀粉含量均随遮荫强度的增大而增加^[33]。本实验中,朱砂根可溶性糖和淀粉并未受到光照条件的显著影响,这是因为在相对适宜光照下光合速率较快,碳代谢、碳运输与碳积累速度均较快,而在强光或极弱光下,尽管光合作用受到抑制,但植株为了维持自身生长,储存了较多的非结构性碳水化合物。

植物处于一定逆境胁迫下时,可通过增加可溶性蛋白的含量来调节细胞渗透势^[34]。本研究中,相对光强为 15%~100% 时,朱砂根体内蛋白含量

无明显变化,说明在此光照条件下并未对朱砂根的生长造成胁迫。但在极弱光照时,其含量显著下降,说明极弱光处理限制了朱砂根的生长,造成朱砂根细胞受损,无法再通过增加可溶性蛋白的含量来调节细胞渗透势。氮是植物生长所需的矿质元素,参与植物体内多种生理代谢过程。在相对光照强度为 33% ~ 52% 时,朱砂根叶片含氮量较低,而在全光照和弱光下,叶片氮利用率降低,导致含氮量增加,影响其他生理代谢活动,但硝酸还原酶的同时增加缓解了这一负面影响。

植物在受到胁迫时一般会产生大量活性氧,造成细胞功能紊乱甚至死亡,而超氧化物歧化酶能有效防止活性氧等有害物质对植物体的伤害^[35]。丙二醛是细胞质膜过氧化的最终产物,可与细胞膜上的蛋白质结合致使其失活,从而破坏生物膜的结构和功能,因此可根据其含量分析细胞质膜的过氧化程度^[36]。另外电导率与植物细胞质膜受害程度和植物抗性有关^[37]。丙二醛和电导率的含量在各相对光照处理下均无明显变化,表明弱光处理下朱砂根细胞质膜过氧化程度虽然较低,但质膜结构并未受到根本损伤。这可能是由超氧化物歧化酶组成的过氧化酶防御系统部分缓解了弱光胁迫,反映了朱砂根的耐荫性及自身抗性较强。

3.3 不同光环境下朱砂根叶片的超微结构

正常情况下,植物叶片细胞没有异常的细胞内含体或空泡化结构,叶绿体呈纺锤形结构,外膜完整,基粒片层发达、清晰可见,排列整齐有序^[38]。本研究在 15% ~ 52% 相对光照处理下,发现朱砂根细胞结构完整,叶绿体数量较多且清晰可见;但在全光照(100%)和极弱(6%)光照下,朱砂根发生质壁分离现象且叶绿体数量较少,表明较高或较低的光照强度均对细胞结构造成损伤,影响植物正常光合和其他生理代谢,也验证了朱砂根各项生理指标在不同光照条件下可以发生变化。陶巧静^[39]对西洋杜鹃(*Rhododendron hybridum* Ker Gawl)的研究发现,在弱光胁迫下植物的生理活性明显降低,细胞受损、细胞器破坏严重,说明植物体受到弱光胁迫时会表现出细胞结构的破坏,会发生细胞器数量降低或受损的现象。

4 结论

本文通过研究不同光环境下朱砂根的形态、生

物量、生理指标及超微结构的变化特征,初步揭示了朱砂根对光环境变化的响应和适应策略。朱砂根主要通过改变地上部分茎和叶生物量的分配来适应不同光环境变化。在15%~52%的相对光照条件下,其分配较多的生物量增加叶面积,同时增加光合色素含量以捕获固定较多光能;在100%全光照和6%的极弱光照下,则减少对叶片生物量投入,将更多的物质储存于枝干中。此外,在全光照和极弱光照下,朱砂根细胞受损、细胞器破坏严重,细胞膜渗透性降低,生长受到严重抑制。综上所述,朱砂根耐荫性和可塑性较强,光照幅度较广,在相对光强为15%~52%之间均能正常生长发育。

参考文献:

- [1] 徐飞,郭卫华,徐伟红,王仁卿.不同光环境对麻栎和刺槐幼苗生长和光合特征的影响[J].生态学报,2010,30(12):3098-3107.
Xu F, Guo WH, Xu WH, Wang RQ. Effects of light intensity on growth and photosynthesis of seedlings of *Quercus acutissima* and *Robinia pseudoacacia*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3098-3107.
- [2] Leakey ADB, Press MC, Scholes JD. Patterns of dynamic irradiance affect the photosynthetic capacity and growth of dipterocarp tree seedlings [J]. *Oecologia*, 2003, 135(2): 184-193.
- [3] 邓波,曹燕妮,方升佐,尚旭岚.光照强度对青钱柳叶形态结构、光合特性和生长的影响[J].东北林业大学学报,2015,43(8):1-6.
Deng B, Cao YN, Fang SZ, Shang LX. Influence of light intensity on leaf morphological structure, photosynthesis characteristics and growth of *Cyclocarya paliurus* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2015, 43(8): 1-6.
- [4] 岳建平,席广永,黎呢.基于多小波的分布式光纤温度传感监测数据处理[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(5):675-678.
Yue JP, Xi GY, Li N. Distributed optical fiber temperature sensing monitoring data processing based on multiwavelet [J]. *Journal of Hohai University: Natural Science Edition*, 2008, 36(5): 675-678.
- [5] 聂谷华.观赏、生态及经济三用植物——朱砂根[J].河北林业科技,2010(1):104-105.
Nie GH. Ornamental, ecological and economic three-use plant-*Ardisia crenata* [J]. *Hebei forestry Science*, 2010(1): 104-105.
- [6] 刘敬聪.耐荫与观果皆优的乡土树种:朱砂根[J].广东园林,2005,29(3):36-37.
Liu JC. Local tree species with excellent shade and fruit: *Ardisia crenata*[J]. *Guangdong Landscape Architecture*, 2005, 29(3): 36-37.
- [7] 江香梅,叶金山,幸伟荣.紫金牛属植物的药用、观赏价值及其研究进展[J].江西林业科技,2003,5(12):30-33.
Jiang XM, Ye JS, Xing WR. The medicinal and ornamental value and research progress of *Ardisia*[J]. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 2003, 5(12): 30-33.
- [8] 陶萌春,廖柏林,罗盛金.朱砂根播种育苗技术[J].种子,2014,33(10):126-128.
Tao MC, Liao BL, Luo SJ. Technical regulations of sowing seedling-rasing of *Ardisia crenata* [J]. *Seed*, 2014, 33(10): 126-128.
- [9] 张伟,李焜,李东,祁献芳,康文艺.朱砂根化学成分和药理作用研究进展[J].中国实验方剂学杂志,2011,17(11):279.
Zhang W, Li K, Li D, Qi XF, Kang WY. Development of chemical and pharmacological of *Ardisia crenata*[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2011, 17(11): 279.
- [10] 李勇军,夏彬,龙庆德,张桂青,查俊,等.朱砂根主要活性成分的含量测定研究[J].时珍国医国药,2011,22(8):1929-1931.
Li YJ, Xia B, Long QD, Zhang GQ, Zha J, et al. The study of the content of main active components of *Ardisia crenata*[J]. *Li Shi Zhen Medicine and Materia Medica Research*, 2011, 22(8): 1929-1931.
- [11] 蔡长福.朱砂根外植体消毒及启动培养的研究[J].安徽农业科学,2015,43(26):30-32.
Cai CF. Study on the sterilization and initiation culture of explant in *Ardisia crenata* [J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2015, 43(26): 30-32.
- [12] 胡菊,毛美琴,杨君,但方,马明东.4种发根农杆菌对朱砂根组培无菌叶片毛状根诱导的影响[J].西北植物学报,2016,36(2):411-418.
Hu J, Mao MQ, Yang J, Dan F, Ma MD. Four kinds of *Agrobacterium rhizogenes* on sterile leaves induction of *Ardisia crenata* Sims [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, 36(2): 411-418.
- [13] 邓素芳,黄烯,赖钟雄.朱砂根的药用价值与观赏价值[J].亚热带农业研究,2006,2(3):176-178.
Deng SF, Hu X, Lai ZX. Progress in them edicinal and ornamental values of *Ardisia crenata* Sims [J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2006, 2(3): 176-178.
- [14] Alpert P, Bone E, Holzappel C. Invasiveness, invisibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants[J]. *Perspect Plant Ecol*, 2000, 3: 52-66.
- [15] 颀洪涛,虞木奎,成向荣.光照强度变化对5种耐阴植物氮磷养分含量、分配以及限制状况的影响[J].植物生态学报,2017,41(5):559-569.

- Xie HT, Yu MK, Cheng XR. Effects of light intensity variation on nitrogen and phosphorus contents, allocation and limitation in five shade-enduring plants[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2017, 41(5): 559-569.
- [16] 成向荣, 周俊宏, 陈永辉, 武克壮, 虞木奎. 山梔子幼苗表型可塑性对不同光环境的响应[J]. *江西农业大学学报*, 2016, 38(1): 180-186.
- Cheng XR, Zhou JH, Chen YH, Wu KZ, Yu MK. Effects of light intensity on phenotypic plasticity of *Gardenia jasminoides* seedlings[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2016, 38(1): 180-186.
- [17] 张治安, 张美善, 蔚荣海. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.
- Zhang ZA, Zhang MS, Wei RH. Guidance on the Experiment of Plant Physiology[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2004.
- [18] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理实验技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨出版社, 2002.
- Hao ZB, Cang J, Xu Z. Plant Physiology Experiment Technology[M]. Harbin: Harbin Publishing House, 2002.
- [19] 左志锐, 高俊平, 穆鼎, 刘春. 盐胁迫下百合两个品种的叶绿体和线粒体超微结构比较[J]. *园艺学报*, 2006, 33(2): 429-432.
- Zuo ZR, Gao JP, Mu D, Liu C. A comparative electron microscopic of ultra-structure in different lily cultivars under salt stress[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(2): 429-432.
- [20] 吴月燕, 李波, 张燕忠, 崔鹏. 盐胁迫对杜鹃生理生化与叶绿体亚显微结构的影响[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2011, 37(6): 642-648.
- Wu YY, Li B, Zhang YZ, Cui P. Effects of salt stress on physiological-biochemical characteristics and chloroplast submicroscopic structure of *Rhododendron indicum*[J]. *Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Science*, 2011, 37(6): 642-648.
- [21] 孟婷婷, 倪健, 王国宏. 植物功能性状与环境及生态系统功能[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 150-165.
- Meng TT, Ni J, Wang GH. Plant functional traits, environments and ecosystem functioning[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(1): 150-165.
- [22] 周俊宏, 成向荣, 虞木奎, 诸葛建军. 紫楠幼苗生长、叶性状和生物量分配对林窗不同生境的响应[J]. *东北林业大学学报*, 2015, 43(12): 21-24, 50.
- Zhou JH, Cheng XR, Yu MK, Zhuge JJ. Responses of growth, leaf traits and biomass allocation of *Phoebe shearerii* seedlings to different habitats in forest gap[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2015, 43(12): 21-24, 50.
- [23] Wang GG, Bauerle WL, Mudder BT. Effects of light acclimation on the photosynthesis, growth, and biomass allocation in American chestnut (*Castanea dentata*) seedlings[J]. *Forest Ecol Manag*, 2006, 26: 173-180.
- [24] Saldana-Acosta A, Meave JA, Sánchez-Velázquez LR. Seedling biomass allocation and vital rates of cloud forest tree species: responses to light in shade house conditions[J]. *Forest Ecol Manag*, 2009, 258: 1650-1659.
- [25] Poorter H, Nagel O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review[J]. *Aust J Plant Physiol*, 2000, 27: 595-607.
- [26] Nishimura E, Suzaki E, Irie M. Architecture and growth of an annual plant chenopodium album in different light climates[J]. *Ecol Res*, 2010, 25(2): 383-393.
- [27] 周忆堂, 马红群, 梁丽娇, 洪鸿, 胡丽涛, 等. 不同光照条件下长春花的光合作用和叶绿素荧光动力学特征[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(11): 3589-3595.
- Zhou YT, Ma HQ, Liang LJ, Hong H, Hu LT, et al. Photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence in leaves of *Catharanthus roseus* grown under different light intensities[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(11): 3589-3595.
- [28] 罗俊, 张木清, 吕建林, 林彦铨. 水分胁迫对不同甘蔗品种叶绿素 a 荧光动力学的影响[J]. *福建农业大学学报*, 2002, 29(1): 18-22.
- Luo J, Zhang MQ, Lü JL, Lin YS. Effects of water stress on the chlorophyll a fluorescence induction kinetics of sugarcane genotypes[J]. *Journal of Fujian Agricultural University*, 2002, 29(1): 18-22.
- [29] 王亚芸, 王立英, 任建武, 姚洪军, 沙海峰. 金叶榆不同叶位叶片呈色生理机制研究[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(16): 22-29.
- Wang YY, Wang LY, Ren JW, Yao HJ, Sha HF. The study of color-emerging mechanism of leaves at different leaf position of *Ulmus pumila* 'Jinye'[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(16): 22-29.
- [30] Iriti M, Faoro F. Chemical diversity and defence metabolism: how plants cope with pathogens and ozone pollution[J]. *Int Journal Mol Sci*, 2009, 10(8): 3371-3399.
- [31] 陈青君, 张福漫, 王永健, 藏田宪次. 黄瓜对低温弱光反应的生理特征研究[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(1): 77-81.
- Chen QJ, Zhang FM, Wang YJ, Zangtian XC. Studies of physiologic characteristics of reaction of cucumber to low temperature and poor light[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(1): 77-81.
- [32] 张莉, 续九如. 水分胁迫下刺槐不同无性系生理生化反应的研究[J]. *林业科学*, 2003, 39(4): 162-167.
- Zhang L, Xu JR. Studies on physiological and biochemical responses of *Robinia pseudoacacia* clones under water stress[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(4): 162-167.

- [33] 杨柳, 何正军, 赵文吉, 贾国夫, 来利明, 等. 狭叶红景天幼苗对水分及遮阴的生长及生理生化响应[J]. 生态学报, 2017, 37(14): 4706-4714.
Yang L, He ZJ, Zhao WJ, Jia GF, Lai LM, et al. Growth, physiological, and biochemical responses of *Rhodiola kirilowii* seedlings to water and shading[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(14): 4706-4714.
- [34] Amini F, Ehsanpour AA. Soluble proteins, proline, carbohydrates and Na⁺/K⁺ changes in two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars under in vitro salt stress[J]. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 2005, 1(4): 212-216.
- [35] 冯坤, 郑青松, 俞佳虹, 程远, 叶青静, 等. 超氧化物歧化酶的遗传特征及其在植物抗逆性中的研究进展[J]. 分子植物育种, 2017, 15(11): 4498-4505.
Feng K, Zheng QS, Yu JH, Cheng Y, Ye QJ, et al. The characteristics of superoxide dismutase (SOD) in evolutions and its research in plant resistance[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2017, 15(11): 4498-4505.
- [36] 王志昊, 叶冬梅, 何炎红, 张智慧, 张国盛, 段国珍. 5 种沙生植物丙二醛、脯氨酸和 2 种氧化物酶比较[J]. 分子植物育种, 2018, 16(11): 3727-3731.
Wang ZH, Ye DM, He YH, Zhang ZH, Zhang GS, Duan GZ. Comparison of the content of MDA, proline and activity of two kinds of enzyme in 5 common desert plants[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2018, 16(11): 3727-3731.
- [37] 贾晓龙, 陈鸽, 南桂仙. 三种非生物胁迫对蒙古柳幼苗电导率和丙二醛含量的影响[J]. 黑龙江科学, 2017, 8(24): 13-14, 19.
Jia XL, Chen G, Nan GX. Influences of three stress treatments on electric conductivity and malondialdehyde content on *Salix linearistipularis* seedlings[J]. *Heilongjiang Science*, 2017, 8(24): 13-14, 19.
- [38] 林多, 黄丹枫, 杨延杰, 陈宁. 钾素水平对网纹甜瓜叶片光合特性及叶绿体亚显微结构的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1068-1072.
Lin D, Huang DF, Yang YJ, Chen N. Effects of potassium level on photosynthetic characteristics and chloroplast submicroscopic structure of *Muskmelon* leaves[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(5): 1068-1072.
- [39] 陶巧静, 吴月燕, 付涛, 项锡娜, 李波. 弱光胁迫对西洋杜鹃生理特性和叶片超微结构的影响[J]. 林业科学, 2015, 51(3): 84-92.
Tao QJ, Wu YY, Fu T, Xiang XN, Li B. Effect of low light stress on physiological characteristics and ultrastructure of *Rhododendron hybridum* leaves[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2015, 51(3): 84-92.

(责任编辑: 周媛)